

硅砂の液状化強度に及ぼす粒径の影響

前橋工科大学 学生会員○岡部成晃
 前橋工科大学 正 会 員 土 倉 泰

1. はじめに

大きな地震が起きると、地盤とマンホールの間に埋め立てた山砂等が液状化してマンホールが浮き上がり、交通妨害となる場合がある。そこで、建設材料に用いられる砂のうち、どのような砂が液状化しやすいのかについて基本的に調べることを目的として、粒径の異なる硅砂の液状化試験を行った。

2. 試料に用いた2種類の硅砂の粒度・形状

本研究では、図-1に示す硅砂4号、7号を試料として実験を行い、その結果を比べる。2つの粒度試験結果を図-2と表-1で示す。それぞれの粒径は0.6mm、0.2mm程度である。均等係数、曲率係数はそれほど大差がない。土粒子密度はともに2.64g/cm³である。

また、粒子形状を表すFU係数¹⁾を調べた。FU係数は次式で定義する。

$$FU = \frac{f}{f_c} = \frac{4\pi a}{l^2} \cdots (1)$$

試料 f = a/l² a: 断面積 l: 外周長
 球体 f_c = πR²₀ / (2πR₀)² = 0.0796

なお、断面積と外周長は、粒子の取扱易さを考慮し、粒子内に直交する三軸を考え、長軸と中間軸を含む平面に粒子を投影した断面のものである。(1)式から球体に近いほど1に近づくがともに0.84前後であり、形状はほぼ同じである。これらの試料データから硅砂4号、7号では粒径以外には大きく異なることがないと考えられる。

3. 粒径による詰まり具合の比較

最大最小密度試験(JIS A 1224)を行い2つの砂の最大密度、最小密度を調べた。その結果を表-2に示す。

粒径の大きい4号の方が最大密度、最小密度ともに大きい。最大密度試験では、同じ打撃回数であっても粒径が大きい4号の方がモールド内に入る土粒子数が少ないため、土粒子1粒が受けるエネルギーが高くなるから密になると考えられる。また、最小密度試験では漏斗の口径は同じであり、出てくる土粒子数は4号の方が少ない。少しずつ出た方が間隙も少なく密に詰まりやすいと考えられる。詰め方が同じであれば、粒径が小さい7号よりも粒径が大きい4号の方が密に詰まることが分かった。



図-1 硅砂4号、7号(ひと目盛り0.1mm)

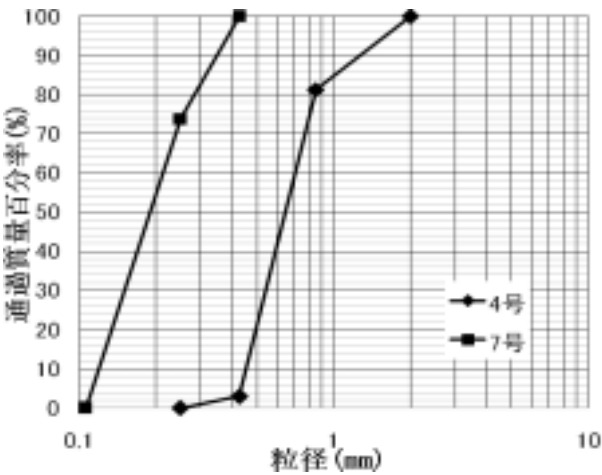


図-2 粒径加積曲線

表-1 土粒子データ

	平均粒径 (mm)	均等係数	曲率係数	FU 係数
4号	0.61	1.43	0.93	0.843
7号	0.19	1.75	0.89	0.840

表-2 最大最小密度試験結果

	最大密度(g/cm ³)	最小密度(g/cm ³)
4号	1.71	1.47
7号	1.66	1.37

4. 繰り返し非排水三軸試験による液状化試験

次に液状化試験(JGS0541-2009)を行った。供試体寸法は高さ 10cm、直径 5cm の円筒形で相対密度を 50% になるよう空中落下法で落下高さ、漏斗の口径を所定の密度になるように調整し作成した。供試体には二酸化炭素と脱気水を通し、背圧を 98kPa とし B 値 0.95 以上を得た。試験は、供試体に一定のセル圧を加えたまま、軸差応力を圧縮方向と伸張方向に繰り返し加える。これによって地震を想定した荷重を供試体に与えて試験を行う。試験条件は SIN 波、周波数 0.1Hz、軸ひずみ 5% で液状化判定、拘束圧 98kPa、相対密度 Dr50% で、次式の繰り返しせん断応力比 R 値を変えて行う。

$$R = \frac{\tau_d}{\sigma_c} \cdot \cdot \cdot (2) \quad \tau_d: \text{繰り返しせん断応力}(\text{kg/cm}^2) \\ \sigma_c': \text{有効拘束圧}(\text{kg/cm}^2)$$

試験結果は図-3、表-3 に示す。図-3 の液状化強度曲線は繰り返しせん断応力比と軸ひずみ 5% に至った時の繰り返し回数をプロットしたものである。表-3 は曲線から求めた繰り返し回数 20 回における繰り返しせん断応力比 R_{20} 、いわゆる液状化強度である。表-3 からわかるように 4 号の方が 0.04 程度液状化強度が大きいことがわかった。

ここでゴム膜貫入の補正²⁾をした。ゴム膜貫入とはゴムスリーブの供試体側面への貫入量の変化による、見かけの体積変化で、補正をしないと繰り返し回数が過大評価される。この補正を行った結果、差が 0.02 程度に小さくなった。粒径の大きい 4 号の方が貫入量が大きいため液状化強度が小さくなったが、それでも 4 号の方が液状化強度が高い結果となった。

日本下水道協会では埋戻し土の強度は 0.40 程度確保すればよいとしている³⁾。それと比較すると 2 つの液状化強度に大差はなく、粒径による影響が大きいことは既存の研究⁴⁾でも言われている通りであった。

5. 単調載荷試験における体積ひずみ

液状化試験と同様に供試体を作成し、単調載荷試験(圧密排水三軸圧縮試験 JGS0524-2009)を行った。40 分で軸ひずみ 15% に達する条件で単調載荷した。図-4 はせん断応力 τ と体積ひずみのグラフである。このグラフからも 4 号と 7 号に大きな差がないことがわかる。

6. おわりに

粒度試験、FU 係数からみて粒径以外に大きく異なる性質がない 2 種の珪砂を、同一方法で容器に詰めると、粒の大きい方が詰まりやすいことが分かった。これらの砂で Dr50% 程度の供試体を作成して液状化試験を行った。粒の大きい方が若干液状化強度が大きい、日本下水道

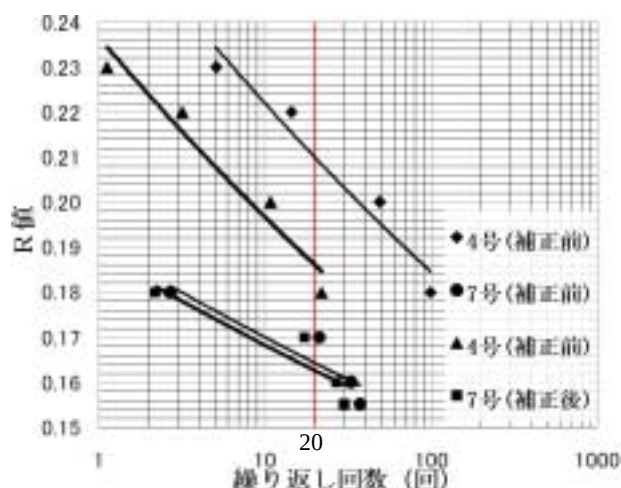


図-3 液状化強度曲線

表-3 液状化強度 R_{20}

	R_{20} (補正前)	R_{20} (補正後)
4 号	0.210	0.186
7 号	0.169	0.167
R_{20} の差	0.041	0.019

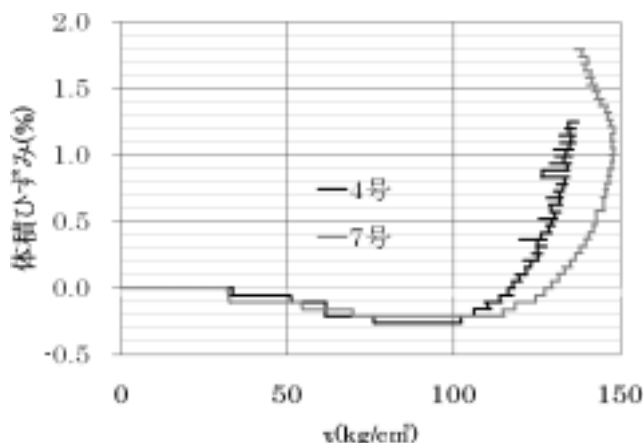


図-4 せん断応力に対する体積ひずみの変化

協会が定めた値に比べると液状化強度に大差はなく、従来言われている通り、粒径による液状化強度の差はないことが確認できた。

参考文献

- 1) 吉村優治・小川正二：砂のような粒状体の簡易な定量化法, 土木学会論文集, No. 463/III-22, pp. 95-103, 1993.
- 2) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, pp. 737-738, 2009.
- 3) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説—2006 年度版—, 2006.
- 4) 吉見吉昭：砂地盤の液状化, p. 38, 1991.